

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/000971

International filing date: 01 February 2005 (01.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 005 380.4  
Filing date: 03 February 2004 (03.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 03 June 2005 (03.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 005 380.4

**Anmeldetag:** 03. Februar 2004

**Anmelder/Inhaber:** ISRA Vision Systems AG,  
64297 Darmstadt/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Bestimmung der Lage eines  
Objekts im Raum

**IPC:** G 01 B, G 05 D

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 23. März 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Schmidt C.

## Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objekts im Raum

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objekts im Raum, bei dem Messmerkmale des Objekts mit einer auf ein Raum-Koordinatensystem kalibrierten optischen Aufnahmeeinrichtung aufgenommen werden und anhand dieser Messmerkmale in einer Bildverarbeitungseinrichtung die Lage des Objekts in dem Raum-Koordinatensystem bestimmt wird. Derartige  
10 Verfahren finden bspw. bei Produktions- und Montagevorgängen in automatisierten Produktionsstraßen Anwendung, bei denen mittels Handhabungsgeräten ein Arbeitsvorgang an einem Fertigungsobjekt unbekannter Lage durchgeführt werden soll.

15 In der EP 0 911 603 B1 ist zur optischen Bestimmung der Lage eines starren Körpers in einem räumlichen Koordinatensystem beschrieben, jede aus einer Auswahl von mindestens drei auf dem starren Körper vorhandenen Linien oder Kanten, deren Bezug zum körpereigenen Koordinatensystem bekannt ist, in einem ebenen Koordinatensystem abzubilden, wobei die Lage der ebenen Koordinaten auf das räumliche Koordinatensystem bezogen ist und auf eine Zuordnung ausgezeichneter Punkte verzichtet wird. Die Kanten oder Linien werden in der Regel durch mehrere Kameras erfasst, wobei es auch möglich ist, eine in Bezug auf das räumliche Koordinatensystem kontrolliert bewegbare Kamera heranzuziehen und nacheinander mehrere Aufnahmen der Linien oder Kanten  
25 zu machen.

Dabei besteht jedoch der Nachteil, dass entweder mehrere Kameras eingesetzt und gesondert kalibriert werden müssen oder die Bestimmung der Lage des Objekts im Raum lange dauert, weil mehrere Bilder aus unterschiedlichen Positionen aufgenommen werden müssen.  
30

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Möglichkeit zur Bestimmung der Lage eines Körpers im Raum vorzuschlagen, die eine zuverlässige Ermittlung der Lage eines Objekts im Raum mit weniger Kameras oder Kamerapositionen zulässt.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art im Wesentlichen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dazu werden mindestens zwei Messmerkmale des Objekts in einer Aufnahmeeinrichtung gleichzeitig erfasst und zur Bestimmung der Lage des Objekts herangezogen. Hierzu werden die Messmerkmale, deren Koordinaten in ihrem eigenen Koordinatensystem, insbesondere einem Objekt-Koordinatensystem, bekannt sind bzw. durch die Bildverarbeitung ermittelt werden können, in einem zweidimensionalen Koordinatensystem der Aufnahmeeinrichtung abgebildet. Da die durch die Position und Ausrichtung bestimmte Lage der Aufnahmeeinrichtung im Raum-Koordinatensystem und deren Abbildungseigenschaften bekannt ist, kann die Bildverarbeitung über an sich bekannte Auswerteverfahren eine Relation zwischen den in dem zweidimensionalen Koordinatensystem der Aufnahmeeinrichtung abgebildeten Messmerkmalen und dem Raum-Koordinatensystem herstellen. Über den bekannten Bezug der verschiedenen Messmerkmale zueinander in dem Objekt-Koordinatensystem kann dann auf die Anordnung der aufgenommenen Messmerkmale im Raum rückgeschlossen werden. Dies lässt eine Lagebestimmung des Objekts im Raum zu. Dabei können erfindungsgemäß auch Messmerkmale zu mehreren Gruppen zusammengefasst und in verschiedenen Teilmessungen erfasst werden, wobei die Koordinaten der Messmerkmale in einer Gruppe relativ zueinander bekannt sind, ohne dass die Koordinaten relativ zu Messmerkmalen anderer Gruppen ebenfalls bekannt sind. Durch Zusammenfassung der verschiedenen Teilmessungen können die Koordinaten des Gesamtkörpers mit erhöhter Genauigkeit bestimmt werden.

Bisher wurde angenommen, dass die optischen Achsen der Messeinrichtungen, mit denen die verschiedenen Messmerkmale zur Lagebestimmung aufgenommen wurden, im Raum unterschiedlich ausgerichtet sein müssen, um mathematisch stabile Lösungen der Auswertalgorithmen erreichen zu können. Dies hat es erforderlich gemacht, jedes Messmerkmal, das zur Bestimmung der Lage des Objekts im Raum herangezogen wurde, aus einer anderen Kameraposition aufzunehmen. Dies wurde entweder durch eine Vielzahl von Kameras erreicht, die an verschiedenen Orten aufgebaut und jeweils kalibriert sind, und hatte einen entsprechend großen apparativen Aufwand zur Folge. Alternativ konnte die Kamera auch nacheinander kontrolliert in verschiedene Aufnahmepositionen bewegt werden. Dies führte jedoch zu einer vergleichsweise langsamen Lagebestimmung, da alle Bilder nacheinander ausgewertet werden mussten. Mit der vorliegenden Erfindung hat sich nun herausgestellt, dass es möglich ist, mehrere Messmerkmale mit einer Kamera gleichzeitig zu erfassen und für die Lagebestimmung im Raum heranzuziehen. Dadurch wird die Geschwindigkeit bei der Bestimmung der Lage eines Objekts im Raum erheblich beschleunigt. Besonders vorteilhaft ist es dafür, wenn die verschiedenen, in einer Kamera erfassten Messmerkmale auf dem Objekt einen deutlichen, insbesondere möglichst großen Abstand aufweisen. Die erreichbare Genauigkeit hängt insbesondere von dem Abstand der Messmerkmale auf dem Objekt ab. Je nach gewünschter Genauigkeit kann daher ein bestimmter Abstand als Mindestabstand zwischen zwei Messmerkmalen vorgegeben werden. Bei geringeren Anforderungen an die Genauigkeit kann das erfindungsgemäße Verfahren jedoch auch mit dicht nebeneinander liegenden Messmerkmalen durchgeführt werden.

Um die Lage eines Objekts im Raum, d. h. dessen Position und Orientierung, genau ermitteln zu können, müssen alle sechs Freiheitsgrade des Objekts bestimmt werden. Dies kann erfindungsgemäß durch Auswertung von mindestens drei Merkmalen aus mindestens einem aufgenommenen Bild erreicht werden. Die Bestimmung einer Objektposition und -orientierung ist also durch Auswer-



tung von drei Messmerkmalen möglich, die in einer oder in mehreren Aufnahmen identifizierbar sind. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn alle zur Auswertung benötigten Messmerkmale mit einer Aufnahme erfasst werden. Es ist jedoch erfindungsgemäß auch möglich, bspw. eines der drei benötigten Messmerkmale mit einer zweiten Aufnahmeeinrichtung oder einer zweiten Aufnahme-  
position der einen Aufnahmeeinrichtung zu erfassen. Durch die Zusammenfassung von mindestens zwei Merkmalen in einer Aufnahmeeinrichtung wird bereits eine erhebliche Verbesserung im Hinblick auf den apparativen Aufwand und/oder die Auswertegeschwindigkeit erreicht.

Mit nur drei Messmerkmalen kann jedoch kein Restfehler bestimmt werden. Bei Verwendung von vier oder mehr Messmerkmalen ist zusätzlich die Bestimmung eines Restfehlers nach einer Fehlerausgleichsrechnung möglich. Der Restfehler charakterisiert den Fehler zwischen der modellierten Geometrie und der Realität und ist daher ein Maß für die erreichte Genauigkeit. Erfindungsgemäß ist es jedoch vorteilhaft, nicht mehr als fünf Messmerkmale gleichzeitig mit einer Auswerteeinrichtung zu erfassen. Auch wenn der Restfehler mit der Anzahl der Messmerkmale abnimmt, hat es sich herausgestellt, dass eine Auswertung von mehr als fünf Messmerkmalen in einem Bild bei den bekannten Auswertemethoden nicht mehr zu einer signifikanten Verbesserung des Fehlers führt. Daher kann zur Vermeidung unnötiger Auswertearbeit auf eine größere Anzahl von auszuwertenden Messmerkmalen in einem Bild einer Auswerteeinrichtung verzichtet werden.

Je nach Anwendungsfall ist es möglich bzw. ausreichend, die Bestimmung der Lage des Objektes mit weniger als sechs Freiheitsgraden durchzuführen. Dabei sind beliebige Untermengen möglich. Bei einem zwei- oder eindimensionalen Messergebnis kann die Anzahl der notwendigen Messmerkmale aufgrund der reduzierten Freiheitsgrade auf zwei bzw. eins verringert werden. Prinzipiell ist die Bestimmung der Lage des Objektes in sechs bis ein Freiheitsgraden mög-

lich. Die Bestimmung von fünf und sechs Freiheitsgraden wird durch mindestens drei Messmerkmale, die Bestimmung von drei und vier Freiheitsgraden durch mindestens zwei Messmerkmale und die Bestimmung von einem und zwei Freiheitsgraden durch mindestens ein Messmerkmal möglich. Auch die Erfassung von nur einem Messmerkmal in einer Aufnahmeeinrichtung kann mit einem erfindungsgemäßen Aufnahme- und Auswertesystem durchgeführt werden, das zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist.

Gemäß einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens handelt es sich bei den Messmerkmalen insbesondere um ausgezeichnete Punkte, d. h. punktförmige Merkmale, die selbst keine Orientierung im Raum aufweisen. Eine solche Orientierung der Messmerkmale im Raum ist für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Gegensatz zu vielen aus dem Stand der Technik bekannten Methoden nicht notwendig und bietet im Vergleich zu Kanten bspw. den Vorteil, dass die Position eines ausgezeichneten Punktes im Raum immer eindeutig ist. Bei einer Kante oder einer anderen geometrischen Kontur ist dagegen zunächst nicht bekannt, welcher Punkt der Kante genau erfasst ist. Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich jedoch auch bei Messmerkmalen anwenden, die als Kanten (mathematische Kurven, Geraden) oder sonstigen beschreibbaren geometrischen Formen ausgebildet sind, wobei sich in diesem Fall der Auswerteaufwand erhöht. Bei einer Kante kann der Winkel der Kante im Raum als zusätzliche Randbedingung verwendet werden, um die Robustheit und Stabilität des mathematischen Lösungsmodells zu erhöhen. Das Verfahren lässt sich erfindungsgemäß auch bei einer Konturauswertung mit beliebig vielen Punkten anwenden.

Obwohl das Verfahren gut mit einer einzigen Aufnahmeeinrichtung ausgeführt werden kann, können erfindungsgemäß auch mehrere Aufnahmeeinrichtungen verwendet werden. Die Anzahl sowie die Anordnung der an der Messung beteiligten Aufnahmeeinrichtungen kann dabei von der Ausdehnung und Geometrie

des zu messenden Objekts sowie der erforderlichen Genauigkeit des Messergebnisses abhängig gemacht werden.

5 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann ein Messmerkmal auch in mehreren Aufnahmeeinrichtungen abgebildet werden. Damit erhöht sich im Allgemeinen die Genauigkeit des Gesamtergebnisses um den Beitrag dieses Messmerkmals, weil hierdurch eine nicht unbedingt notwendige Überbestimmung erreicht und zur Erhöhung der Genauigkeit ausgenutzt wird.

10 Um eine hohe Flexibilität zu erhalten, können erfindungsgemäß eine oder mehrere stationäre und/oder insbesondere mittels eines Handhabungsgerätes bewegbare Aufnahmeeinrichtungen verwendet werden. Dabei können sich an einem Handhabungsgerät auch mehrere fest miteinander verbundene Kameras befinden. Durch den Einsatz eines Handhabungsgerätes ist es auch möglich,  
15 eine Aufnahmeeinrichtung nacheinander an verschiedene Messpositionen zu bringen und dort Bilder aufzunehmen. Bei diesen bewegten Handhabungseinrichtungen muss das Handhabungsgerät entweder immer die gleichen Raumpositionen anfahren, an denen die Aufnahmen stattfinden, oder die kalibrierten Koordinaten seiner eigenen Raumposition ermitteln können und an die Bildverarbeitung übergeben.

Dies kann bspw. durch eine dreidimensionale Kalibrierung der Aufnahmeeinrichtung an dem Handhabungsgerät erfolgen, so dass aufgrund der kontrollierten Bewegung des Handhabungsgerätes die Lage der Aufnahmeeinrichtung an dem  
25 Handhabungsgerät in jedem erreichbaren Bewegungszustand bekannt ist. Es ist auch möglich, die Lage der Aufnahmeeinrichtung selbsttätig durch Vermessen von Merkmalen mit bekannten Koordinaten und/oder durch den Einsatz externer Messmittel zu bestimmen. Insbesondere ist es denkbar, die bewegten Aufnahmeeinrichtungen außerhalb des eigentlichen Messraumes, an dem die Lage des  
30 Objektes zu bestimmen ist, zu kalibrieren, indem ein Kalibriermedium außerhalb



dieses Messraumes angebracht ist. Dazu kann die zu kalibrierende Aufnahme-  
einrichtung durch das Handhabungsgerät so bewegt werden, dass das Kalib-  
riermedium durch die Aufnahmeeinrichtung abgebildet wird. Aus der bekannten  
Lage des Kalibriermediums lässt sich dann die Lage der Aufnahmeeinrichtung  
ermitteln und deren Kalibrierung durchführen. Dies hat den Vorteil, dass das zu  
vermessende Objekt vor der Kalibrierung nicht demontiert werden muss. Durch  
die vorbeschriebenen besonders vorteilhaften Kalibriermöglichkeiten wird er-  
reicht, dass für eine bewegbare Aufnahmeeinrichtung nach einer Bewegung des  
Handhabungsgerätes die Lage der Aufnahmeeinrichtung in dem Raum-  
Koordinatensystem bestimmt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch  
von der Kalibriermethode unabhängig und kann mit beliebigen Kalibrierungen  
eingesetzt werden.

Gemäß einer vorteilhaften erfindungsgemäßen Variante wird die Aufnahmeein-  
richtung derart positioniert, dass zwischen in die Aufnahmeeinrichtung fallenden  
Sehstrahlen, welche von verschiedenen Messmerkmalen ausgehen und zur Be-  
stimmung der Lage des Objekts herangezogen werden, jeweils ein großer Zwi-  
schenwinkel besteht. Ein erfindungsgemäß großer Zwischenwinkel ist dann ge-  
geben, wenn die von verschiedenen Messmerkmalen ausgehenden Sehstrahlen  
nicht parallel oder im Wesentlichen parallel verlaufen. Vorzugsweise ist die Auf-  
nahmeeinrichtung so positioniert, dass die oder möglichst viele Zwischenwinkel  
größer als etwa  $10^\circ$  sind. Dies stellt keine scharfe Grenze dar, da die Größe des  
Zwischenwinkels die Genauigkeit des Ergebnisses bestimmt. Bei entsprechend  
geringeren Genauigkeitsanforderungen können daher auch kleinere Winkel von  
bspw.  $5^\circ$  bis  $6^\circ$  ausreichen. Dies gilt insbesondere dann, wenn nur wenige,  
bspw. ein oder zwei Zwischenwinkel, kleiner sind als die bevorzugten Zwi-  
schenwinkel von größer etwa  $8^\circ$  bis  $10^\circ$ . Entsprechende Winkelbegrenzungen  
gelten bei der Annäherung der Zwischenwinkel an  $180^\circ$ . In diesem Fall lässt  
sich immer noch eine ausreichende Genauigkeit erreichen. Es hat sich erfin-  
dungsgemäß herausgestellt, dass es möglich ist, mehrere Messmerkmale mit

einer Kamera zu erfassen und mit ausreichender Genauigkeit auszuwerten, wenn insbesondere die Winkel zwischen den einzelnen, von diesen Messmerkmalen ausgehenden Sehstrahlen ausreichend groß sind. Dann verlaufen die verschiedenen Sehstrahlen nicht parallel bzw. nicht im Wesentlichen parallel. Die erreichbare Genauigkeit bei der Positionsbestimmung wird dabei um so höher, je größer die Zwischenwinkel zwischen den Sehstrahlen sind.

Dies gilt erfindungsgemäß auch für den Fall, dass jeweils nur ein Messmerkmal in der einer Aufnahmeeinrichtung erfasst wird, wobei insgesamt mehrere Aufnahmepositionen verwendet werden (mehrere Aufnahmeeinrichtungen oder mehrere Positionen einer Aufnahmeeinrichtung nacheinander). Auch in diesem Fall ist die Ausrichtung der optischen Achsen der Aufnahmeeinrichtung(en) an den Aufnahmepositionen nicht entscheidend, solange die von den zur Auswertung herangezogenen Sehstrahlen verschiedener Messmerkmale ausreichend große Zwischenwinkel aufweisen. Daher ist ein eigenständiger Aspekt der vorliegenden Erfindung darauf ausgerichtet, ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objekts im Raum vorzuschlagen, bei dem Messmerkmale des Objekts mit mindestens einer auf ein Raum-Koordinatensystem kalibrierten optischen Aufnahmeeinrichtung aufgenommen werden und anhand dieser Messmerkmale in einer Bildverarbeitungseinrichtung die Lage des Objekts in dem Raum-Koordinatensystem bestimmt wird. Dabei wird die Aufnahmeeinrichtung derart positioniert, dass zwischen in die eine oder die mehreren Aufnahmeinrichtung(en) fallenden Sehstrahlen, welche von verschiedenen Messmerkmalen ausgehen und zur Bestimmung der Lage des Objekts herangezogen werden, jeweils ein großer Zwischenwinkel besteht.

In der Praxis werden in der Regel ausreichende Genauigkeiten bei der Lagebestimmung erreicht, wenn die Zwischenwinkel zwischen den Sehstrahlen insbesondere in einem Bereich von etwa  $10^\circ$  und  $170^\circ$  liegen. Je nach Anwendungsfall kann jedoch auch ein größerer oder kleinerer Winkelbereich sinnvoll sein.

5 Eine optimale Genauigkeit wird erreicht, wenn die Aufnahmeeinrichtung je nach Anwendungsfall derart positioniert und/oder eingerichtet wird, dass jeweils ein möglichst großer Zwischenwinkel besteht. Dies kann bspw. durch eine Abstimmung von Aufnahmeentfernung und Brennweite des Objektivs der Aufnahmeeinrichtung erreicht werden. Zur Erzielung möglichst großer Winkel zwischen den Sehstrahlen ist der Einsatz von insbesondere kurzbrennweitigen Objektiven mit großen Öffnungswinkeln förderlich. Bei solchen Weitwinkelobjektiven sind die Variationen von Skalierungsänderungen und projektiven Verzeichnungen der Objektabbildung in der Aufnahmeeinrichtung, welche bspw. durch eine Kamera mit einem CCD-Sensor gebildet wird, in Abhängigkeit der Objektlage und Orientierung groß, wodurch die Messgenauigkeit verbessert wird. Dabei wird die Aufnahmeeinrichtung vorzugsweise so nah an dem Objekt positioniert, dass die zur Positionsbestimmung heranzuziehenden Messmerkmale gerade noch von der Aufnahmeeinrichtung erfasst werden. Dann wird die von der Aufnahmeeinrichtung angebotene sensitive Fläche, bspw. ein CCD-Chip, optimal ausgenutzt.

10  
15  
25  
30 Entscheidend für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, dass die Koordinaten der Messmerkmale in dem zu vermessenden Objekt zugeordneten Koordinaten, d. h. in den Objekt-Koordinatensystem, für die Bildauswertung bekannt sind und/oder durch diese ermittelt werden können. Dies kann erfindungsgemäß dadurch erreicht werden, dass die Objektdaten mit den Koordinaten der Messmerkmalen der Bildverarbeitung bspw. in Form von Konstruktionsdaten vorgegeben werden. Entsprechend einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es auch möglich, die Koordinaten der Messmerkmale auf den Objekten zu erlernen. Dazu wird das Objekt in mehreren bekannten Lagen durch die Aufnahmeeinrichtung aufgenommen. Die aufgenommenen Bilder werden dann entsprechend ausgewertet und die Koordinaten den jeweiligen Messmerkmalen zugeordnet. Dabei kann die Bildverarbeitung bspw. alle möglichen, auf dem Objekt zur Verfügung stehenden Messmerkmale

erfassen, so dass für die Bestimmung der Lage des Objektes im Raum eine Vielzahl verschiedener Messmerkmale zur Verfügung stehen.

5 Gemäß einer Weiterentwicklung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Auswahl der von einer Aufnahmeeinrichtung zu erfassenden Messmerkmale, die Position der Aufnahmeeinrichtung und/oder die Brennweite der Aufnahmeeinrichtung selbsttätig bestimmt. Dies bietet sich insbesondere bei bewegbaren Aufnahmeeinrichtungen an, da bei diesen der aufzunehmende Bildausschnitt des Objektes so ausgewählt werden kann, dass signifikante, für die Lagebestimmung des Objektes besonders geeignete Messmerkmale den sensitiven Bereich der Aufnahmeeinrichtung optimal abdecken. Dazu kann die Aufnahmeeinrichtung bspw. ein Testbild des Objektes machen. Die Bildverarbeitung identifiziert in diesem Testbild die erkennbaren Messmerkmale. Durch Überprüfung verschiedener Aufnahmepositionen und/oder verschiedener für die Auswertung  
10 verwendeter Messmerkmale kann dann automatisch die optimale Aufnahmeposition ermittelt werden. Ggf. kann zusätzlich auch die Brennweite des Objektivs der Aufnahmeeinrichtung angepasst werden, sofern die Brennweite bei der Aufnahmeeinrichtung automatisch einstellbar ist.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen und/oder deren Rückbezügen.

25 Es zeigen:

Fig. 1 schematisch die Bestimmung der Objektlage in einem Raum-Koordinatensystem mit einer stationären Aufnahmeeinrichtung;



Fig. 2 schematisch die Bestimmung der Objektlage in einem Raum-Koordinatensystem mit einer bewegten Kamera und

Fig. 3 schematisch die Bestimmung der Objektlage in einem Raum-Koordinatensystem relativ zu einer Nulllage des Objekts.

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes System dargestellt, mit dem das Verfahren zur Bestimmung Lage eines Objekts 1 im Raum gemäß der vorliegenden Erfindung durchgeführt werden kann. Dieses zeigt ein Objekt 1, dessen Lage im Raum bestimmt werden soll. Diese Anforderung besteht häufig bei Produktions- und Montagevorgängen in automatisierten Produktionsstraßen, bei denen das Objekt 1 bspw. durch ein Förderband oder dgl. im Raum positioniert wird. Die Lage des Objektes 1 ist dann unbekannt. Ziel der Lagebestimmung ist es zu-  
meist, einen Montage-, Greif- oder Bearbeitungsvorgang an einem Fertigungs-  
objekt 1 in unbekannter Lage durchführen zu können. Eine Montage muss dabei in der Regel immer an einem gleichen Bezugspunkt auf dem Objekt 1 stattfinden. Um dies zu erreichen, muss bei unbekannter Lage des Objektes 1 diese gemessen und ein Handhabungsgerät 2, welches das zu montierende Teil an dem Objekt 1 anbringen soll, entsprechend dem Messergebnis nachgeführt werden. Die an dem Objekt 1 durchzuführenden Aufgaben reichen u.a. vom Anbringen von Komponenten, beispielsweise Einsetzen einer Tür in eine Karosse, oder dem gezielten Aufbringen von Material, beispielsweise Klebstoffe oder Dichtungsmaterial auf einem Objekt 1, bis hin zum Durchführen von Montagebewegungen an dem Objekt, beispielsweise Verschraubung von Verbindungen, Verschweißen mechanisch vorpositionierter Teilobjekte oder dgl.. Ferner kann es beabsichtigt sein, das Objekt zu greifen, um es zu bewegen. Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist jedoch nicht auf diese Anwendungsfälle beschränkt, sondern kann allgemein bei der Lagebestimmung eines beliebigen Körpers im Raum Verwendung finden.



Zur Bestimmung der Lage des Objektes 1 im Raum wird das Objekt 1 mit einer Aufnahmeeinrichtung 3, beispielsweise einer optischen Kamera mit einem CCD-Sensor, aufgenommen. Dabei wird das Objekt 1 mit Messmerkmalen 4 abgebildet, die für die Auswertung der Lage des Objektes 1 im Raum herangezogen werden. Bei diesen Messmerkmalen 4 kann es sich um ausgezeichnete Punkte handeln, d.h. punktförmige Merkmale, die im Raum keine Orientierung aufweisen. Ferner können geometrische Formen, wie Kreise, Striche, der Schwerpunkt eines besonders gekennzeichneten Gebietes, Objektecken oder -kanten oder sonstige Merkmale herangezogen werden, die in dem von der Aufnahmeeinrichtung 3 aufgenommenen Bild eindeutig identifiziert werden können. Wenn die Lage des Objektes 1 im Raum in sechs Freiheitsgraden, d.h. im Hinblick auf Position und Orientierung, unbekannt ist, werden mindestens drei Messmerkmale 4 zur Auswertung herangezogen, die auf dem Objekt voneinander beabstandet sind und in der einen Aufnahmeeinrichtung 3 erfasst werden. Prinzipiell ist es jedoch auch möglich, mehrere Aufnahmeeinrichtungen 3 vorzusehen.

Durch die Aufnahme der Messmerkmale 4 des Objektes 1 wird in der Aufnahmeeinrichtung 3 ein zweidimensionales Abbild des Objektes 1 mit den Messmerkmalen 4 erzeugt. In einer an die Aufnahmeeinrichtung 3 angeschlossenen, nicht gesondert dargestellten Bildverarbeitungseinrichtung wird das aufgenommene Bild dann verarbeitet. Aufgrund der dreidimensionalen Kalibrierung der Aufnahmeeinrichtung 3 in dem Raum-Koordinatensystem 5, bei dem es sich insbesondere um das Weltbezugs-Koordinatensystem handelt, und der bekannten Abbildungseigenschaften der Aufnahmeeinrichtung 3 können den Messmerkmalen 4 des Objektes 1 definierte Raumpunkte zugewiesen werden. Da gleichzeitig die Koordinaten der Messmerkmale 4 relativ zueinander in dem Objekt-Koordinatensystem 6 bekannt sind, lässt sich die Lage des Objektes 1 sowohl im Hinblick auf die Position als auch die Orientierung im Raum genau ermitteln.

Diese Informationen können verwendet werden, um das Handhabungsgerät 2 so zu steuern, dass das Objekt 1 beispielsweise an eine vorbestimmte Raumposition bewegt wird oder an dem Handhabungsgerät 2 befindliche Montagegegenstände positionsgenau an dem Objekt 1 angebracht werden.

5

Eine hohe Genauigkeit lässt sich trotz der Auswertung von mehreren Messmerkmalen 4 in einer Aufnahmeeinrichtung 3 dann erreichen, wenn die ausgewerteten Messmerkmale 4 auf dem Objekt 1 weit genug auseinanderliegen. In diesem Fall sind auch die Zwischenwinkel zwischen von den einzelnen Messmerkmalen 4 in die Aufnahmeeinrichtung einfallenden Sehstrahlen 7 ausreichend groß, so dass die mathematischen Auswertealgorithmen ein stabiles Positionsergebnis liefern. Dabei wird die Position der Aufnahmeeinrichtung 3 vorzugsweise so gewählt, dass möglichst viele Sehstrahlen 7 zu für die Auswertung herangezogenen Messmerkmalen 4 einen möglichst großen Zwischenwinkel aufweisen. Vorteilhaft ist es, wenn der Zwischenwinkel zwischen Sehstrahlen 7 zu möglichst vielen Messmerkmalen jeweils größer als etwa  $10^\circ$  ist.

10

15

Fig. 2 zeigt ein vergleichbares System zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem die Aufnahmeeinrichtung 3 selbst an einem Handhabungsgerät 8 angebracht ist. In diesem Fall werden in einer ersten Aufnahme- position der Aufnahmeeinrichtung 3, welche mit durchgezogenen Strichen dargestellt ist, ein Teil der für die Auswertung herangezogenen Messmerkmale 4 erfasst. Danach wird die Aufnahmeeinrichtung 3 in eine zweite Aufnahme- position überführt, welche mit gestrichelten Linien dargestellt ist. In dieser zweiten Aufnahme- position werden weitere Messmerkmale 4 aufgenommen, die für die Auswertung der Lage des Objektes 1 im Raum herangezogen werden.

25

30

Das erfindungsgemäße Verfahren kann, wie in Fig. 3 dargestellt, auch verwendet werden, um die Relativverschiebung 9 eines Objektes 1 im Raum zu erfassen. Das angewendete Prinzip ist dabei dasselbe, wie in den zuvor beschriebe-

nen Verfahrensvarianten. Durch eine Aufnahmeeinrichtung 3 werden verschiedene Messmerkmale 4 des Objektes 1 in den verschiedenen Raumpositionen erfasst und mittels einer nicht gesondert dargestellten Bildauswertereinrichtung ausgewertet. Durch Vergleich der verschiedenen Lagen des Objektes 1 im Raum zu verschiedenen Zeitpunkten kann dann die Lage des Körpers relativ zu einer Nulllage ermittelt werden.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt insbesondere darin, dass mehrere Messmerkmale 4, vorzugsweise bis zu fünf Messmerkmale 4, gleichzeitig in einer Auswerteeinrichtung erfasst und ausgewertet werden können. Dies vereinfacht und beschleunigt die Bestimmung der Objektlage im Raum im Vergleich zu bisher bekannten Verfahren erheblich.

**Bezugszeichenliste:**

- 1 Objekt
- 2 Handhabungsgerät
- 5 3 Aufnahmeeinrichtung
- 4 Messmerkmal
- 5 Raum-Koordinatensystem
- 6 Objekt-Koordinatensystem
- 7 Sehstrahlen
- 10 8 Handhabungsgerät
- 9 Relativverschiebung

**Patentansprüche:**

- 5 1. Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objekts im Raum (1), bei dem  
Messmerkmale (4) des Objekts (1) mit einer auf ein Raum-Koordinatensystem  
(5) kalibrierten optischen Aufnahmeeinrichtung (3) aufgenommen werden und  
anhand dieser Messmerkmale (4) in einer Bildverarbeitungseinrichtung die Lage  
des Objekts (1) in dem Raum-Koordinatensystem (5) bestimmt wird, **dadurch**  
**gekennzeichnet**, dass mindestens zwei Messmerkmale (4) des Objekts (1) in  
10 einer Aufnahmeeinrichtung (3) gleichzeitig erfasst und zur Bestimmung der Lage  
des Objekts (1) herangezogen werden.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens  
drei Messmerkmale (4) aus mindestens einem aufgenommenen Bild ausgewer-  
tet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es  
sich bei den Messmerkmalen (4) um ausgezeichnete Punkte handelt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch ge-**  
**kennzeichnet**, dass mehrere Aufnahmeeinrichtungen (3) verwendet werden.
5. Verfahren nach Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Mess-  
merkmal (4) in mehreren Aufnahmeeinrichtungen (3) abgebildet wird.
- 25 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch ge-**  
**kennzeichnet**, dass eine stationäre und/oder eine bewegbare Aufnahmeeinrich-  
tung (3) verwendet wird.



7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass für eine bewegbare Aufnahmeeinrichtung (3) nach einer Bewegung die Lage der Aufnahmeeinrichtung (3) in dem Raum-Koordinatensystem (5) bestimmt wird.

5 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufnahmeeinrichtung (3) derart positioniert wird, dass zwischen in die Aufnahmeeinrichtung (3) fallenden Sehstrahlen (7), welche von verschiedenen Messmerkmalen (4) ausgehen und zur Bestimmung der Lage des Objekts (1) herangezogen werden, jeweils ein großer Zwischenwinkel besteht.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zwischenwinkel zwischen etwa  $10^\circ$  und etwa  $170^\circ$  liegt.

15 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufnahmeeinrichtung (3) derart positioniert und/oder eingerichtet wird, dass jeweils ein möglichst großer Zwischenwinkel besteht.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor Anwendung des Verfahrens die Koordinaten der Messmerkmale (4) in einem Objekt-Koordinatensystem (6) erlernt werden, indem das Objekt (1) in mehreren bekannten Lagen durch die Aufnahmeeinrichtung (3) aufgenommen wird.

25 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswahl der von einer Aufnahmeeinrichtung (3) zu erfassenden Messmerkmale, die Position der Aufnahmeeinrichtung (3) und/oder die Brennweite der Aufnahmeeinrichtung (3) selbsttätig bestimmt werden.

1/2

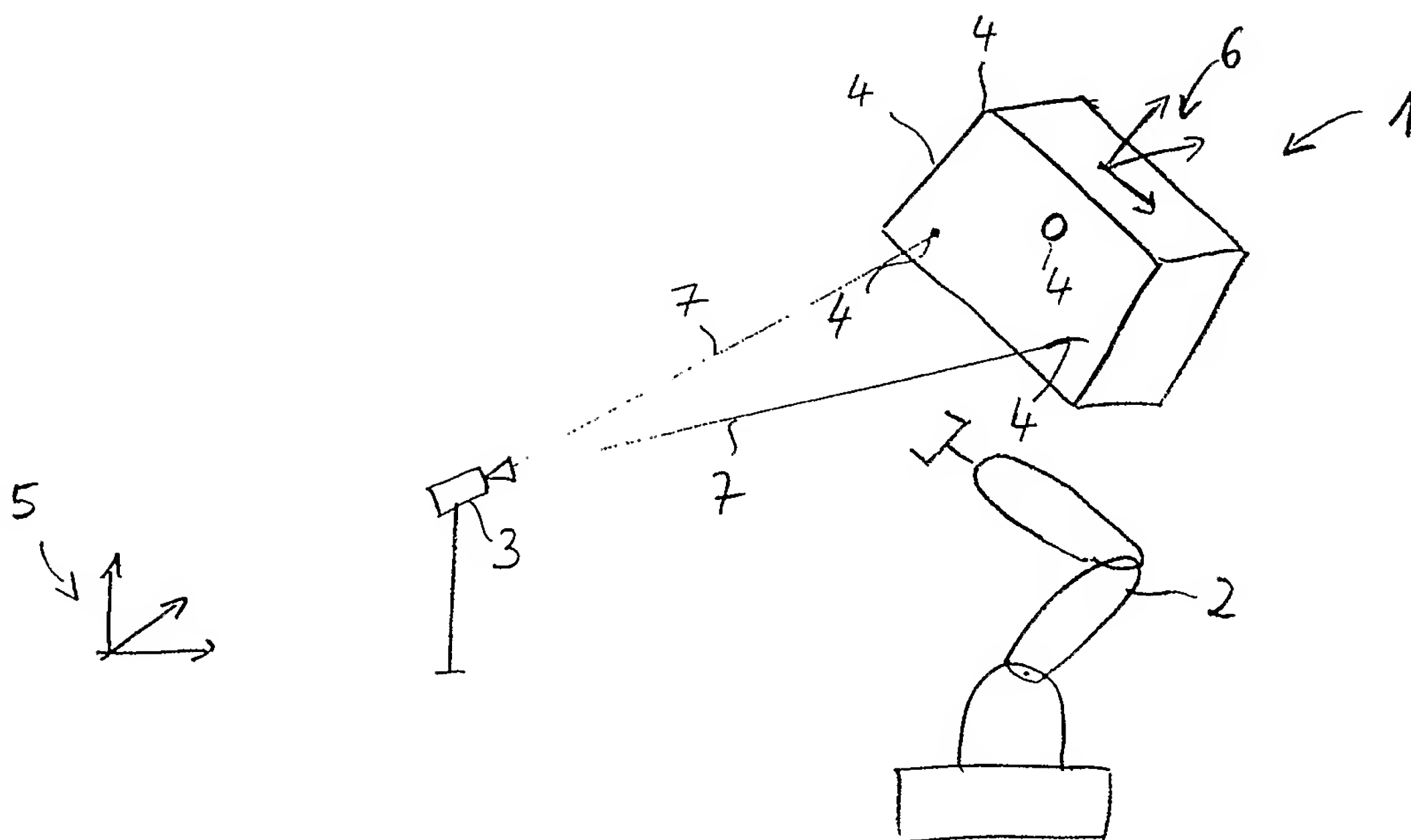


Fig. 1

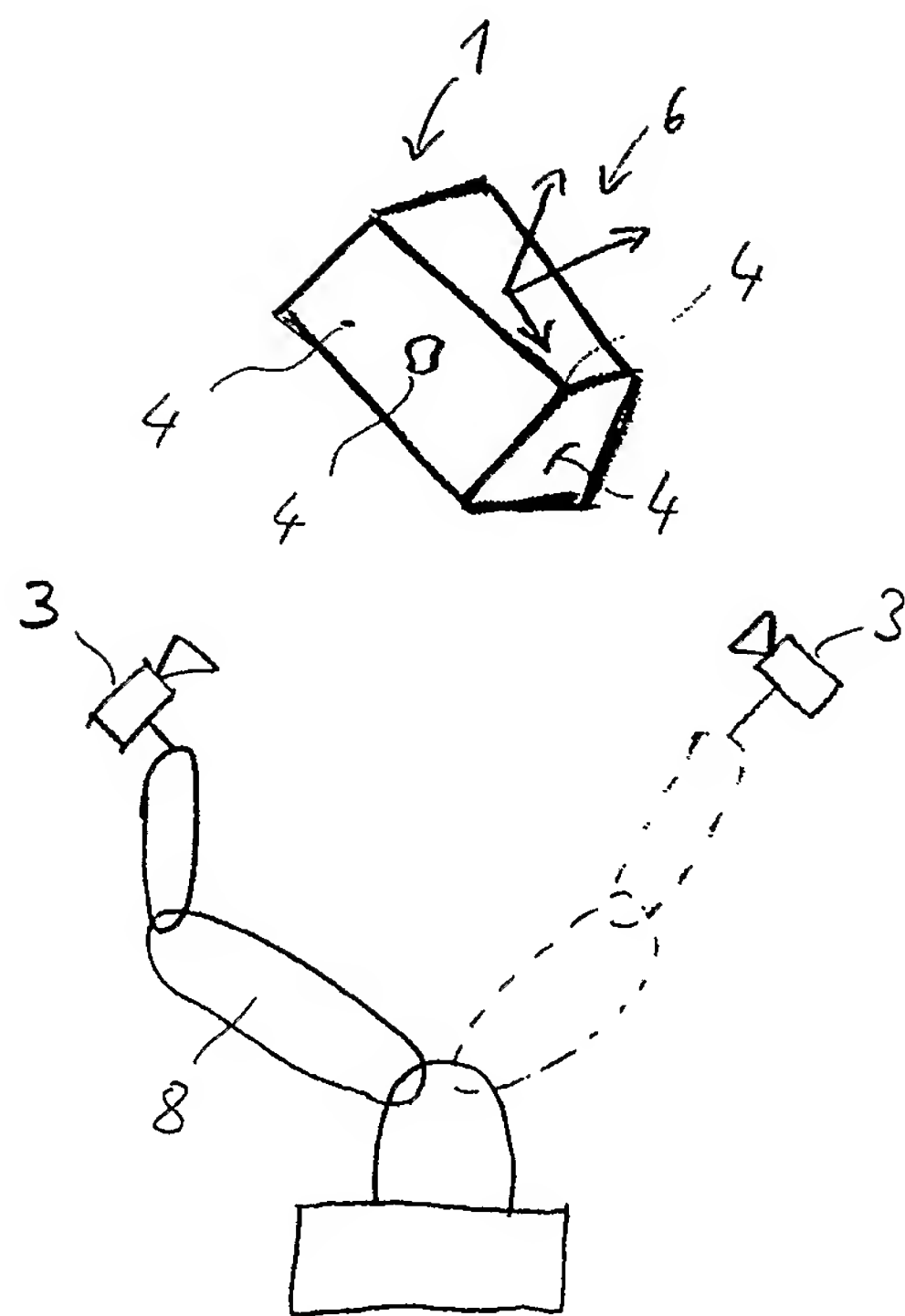


Fig. 2

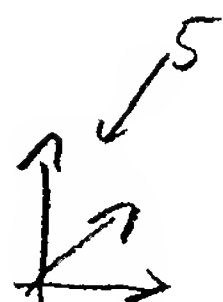
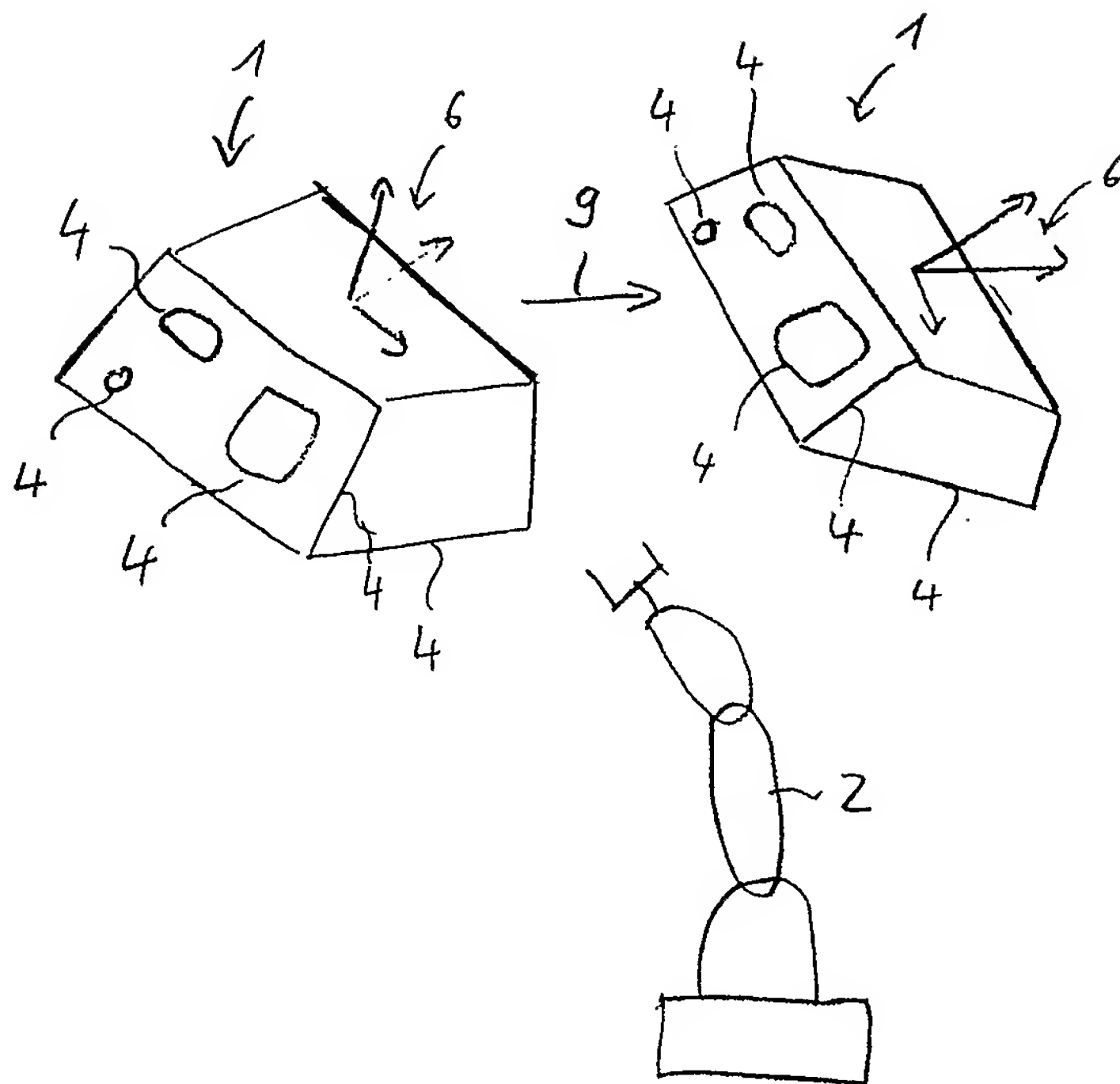


Fig. 3

ISRA  
Vision Systems AG  
Industriestraße 14

64297 Darmstadt

Zusammenfassung:

### **Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objekts im Raum**

Es wird ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objekts im Raum (1) beschrieben, bei dem Messmerkmale (4) des Objekts (1) mit einer auf ein Raum-Koordinatensystem (5) kalibrierten optischen Aufnahmeeinrichtung (3) aufgenommen werden und anhand dieser Messmerkmale (4) in einer Bildverarbeitungseinrichtung die Lage des Objekts (1) in dem Raum-Koordinatensystem (5) bestimmt wird. Um eine zuverlässige Ermittlung der Lage auch mit wenigen Aufnahmeeinrichtungen zu ermöglichen, ist vorgesehen, dass mindestens zwei Messmerkmale (4) des Objekts (1) in einer Aufnahmeeinrichtung (3) gleichzeitig erfasst und zur Bestimmung der Lage des Objekts (1) herangezogen werden. (Fig. 1)